

Ерпалов М.В., Богатов А.А., Кунина А.С.
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург
omd@mtf.ustu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАСОСО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ С ВЫСАЖЕННЫМИ КОНЦАМИ

Введение

В настоящее время перед металлургами стоит задача удовлетворения растущих потребностей нефтедобывающих компаний в высококачественных насосно-компрессорных трубах, способных работать на большой глубине не только в сложных климатических условиях, но и в условиях значительного обогащения нефти минерализованной водой, имеющих в своем составе агрессивные газы, бактерии и т. п. Снижение затрат на замену НКТ для увеличения общего срока службы и межремонтных периодов обеспечивается высадкой концов труб с последующей термообработкой. Поэтому производство высококачественных насосно-компрессорных труб с высаженными концами является актуальной задачей.

1. Технология и оборудование для высадки концов труб

Высадка концов труб – это технологическая операция искусственного утолщения концевых участков труб, характеризуемая увеличением наружного диаметра и толщины стенки, уменьшением внутреннего диаметра, с целью придания повышенной прочности составным соединениям труб (типа муфта-ниппель) при эксплуатации труб в скважинах. Они включают изгибающие, крутящие и растягивающие нагрузки. Высадка концов применяется в основном при изготовлении бурильных и насосно-компрессорных труб. По виду высадки конца трубы различают наружную, внутреннюю и комбинированную высадку. Высаженная часть имеет плавный переход к основному телу трубы, называемому переходной частью. Требования к точности размеров регламентируются соответствующими стандартами. Например, для насосно-компрессорных труб необходимо выполнить требования, в соответствии с ГОСТ 633-80 и API 5 CT.

Высадку концов труб на ОАО «ПНТЗ» производят на гидравлическом прессе фирмы SMS Meer. На рис. 1 представлена схема расположения

оборудования участка высадки насосно-компрессорных труб, а в табл. 1 приведена краткая техническая характеристика гидравлического пресса.

Таблица 1

Техническая характеристика пресса высадки

Наименование параметра	Технические данные
Усилие высадки вперед	около 2500 кН
Усилие высадки назад	около 1250 кН
Длина труб	7,0–12,0 м
Диаметр высаживаемых труб	60,3–127,0 мм
Толщина стенки	4,8–12,7 мм
Ход высадочного цилиндра	1700 мм
Макс. давление зажимного устройства	280 бар
Радиальный ход зажимного устройства	37 мм
Минимальный диаметр высадки	42,2 мм
Максимальный диаметр высадки	146,1 мм
Максимальная скорость передвижения высадочного цилиндра (высадки) - вперед - назад - на полную силу	максимум 500 мм/с максимум 500 мм/с максимум 95 мм/с

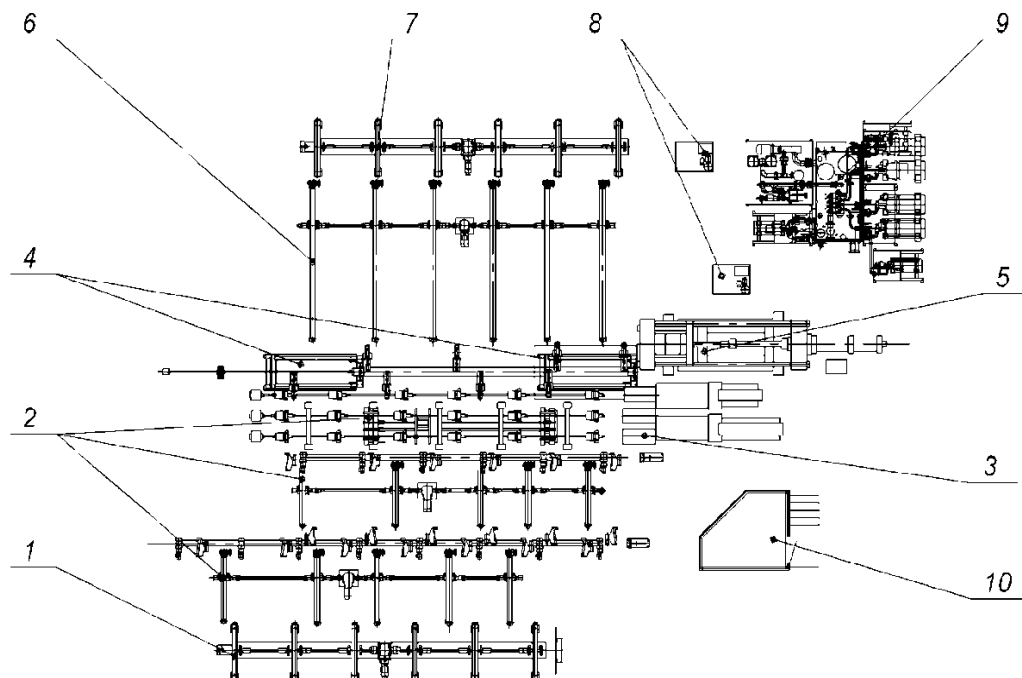


Рис. 1. Схема расположения оборудования участка высадки НКТ
1 – загрузочный карман; 2 – входная сторона пресса; 3 – индукторы; 4 – клещевой манипулятор; 5 – гидропресс; 6 – выходная сторона пресса; 7 – карман для высаженных труб; 8 – баки для приготовления смазки; 9 – маслостанция; 10 – пульт управления

2. Методика расчета калибровки матрицы и пуансона с учетом температуры

В настоящее время существуют стандартные требования по точности высаженного конца труб, которые зависят от калибровки матрицы и пуансона.

Расчет калибровки инструмента проводится в соответствии с принятой методикой на конкретном предприятии.

Общий подход к расчету калибровки:

1. Определение коэффициента линейного расширения материала труб.
2. Определение температур начала и конца деформации.
3. Расчет хода обжатия.
4. Расчет калибровки матриц.
5. Расчет калибровки пуансона.

Показатель термического α расширения определяется изменением длины тела при изменении его температуры на 1 градус:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T}.$$

Коэффициент расширения материала зависит от температур матриц, пуансона и средней температуры высаженной части трубы в процессе деформации и определяет размеры тела при конкретной температуре:

$$K_T = 1 + \alpha \cdot T.$$

Коэффициент термического расширения для стандартных сплавов определяется из справочников, а для специальных с помощью термограмм, полученных при съемке на тепловизор.

Расчет хода деформации ведется при температуре окончания деформации T_2 , которая задана или измеряется с помощью пирометров.

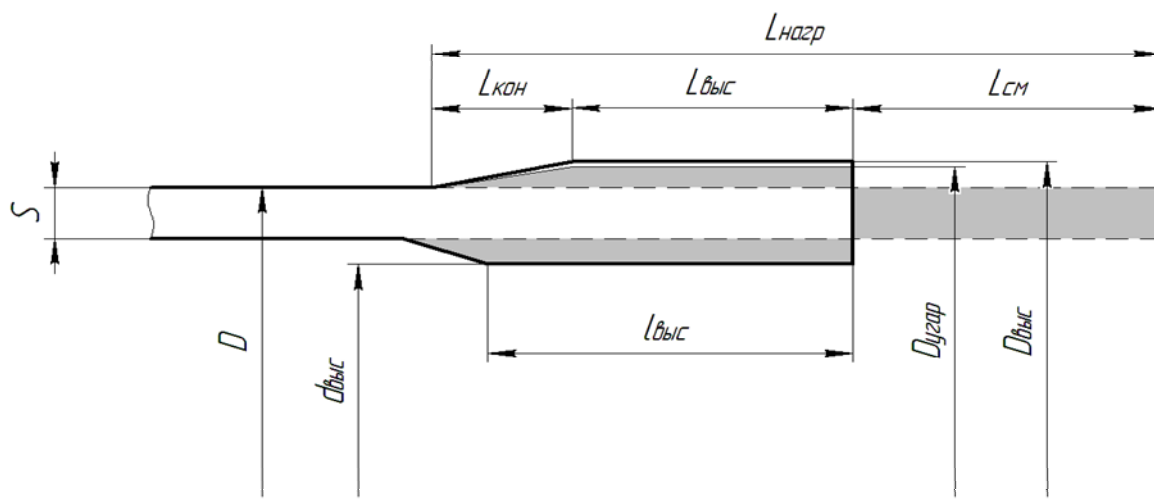


Рис. 2. Основные размеры при высадке насосно-компрессорных труб

Размеры трубы (рис. 2) в горячем состоянии температуры конца деформации T_2 определяются по следующим формулам:

$$D = D_0 \cdot K_{t_2};$$

$$S = S_0 \cdot K_{t_2};$$

$$F = \pi \cdot D \cdot S$$

где D_0 и S_0 – диаметр и толщина стенки в холодном состоянии;

F – площадь поперечного сечения трубы в горячем состоянии при температуре T_2 .

Определение размеров инструмента

где размеры со • – размеры в соответствии с НД;

$K_{угар}$ – коэффициент учитывающий угар металла в объеме 1 %, принимают равным 1,01.

Смещенный объем металла зависит от наружного и внутреннего диаметров высаженной части трубы, длины высаженной части и длины конусной части.

Длины нагрева состоит из суммы длин конусной части, величины осадки и $L_{см}$.

Калибровка матриц заключается в определении длины рабочего участка и длины конической части (рис. 3).

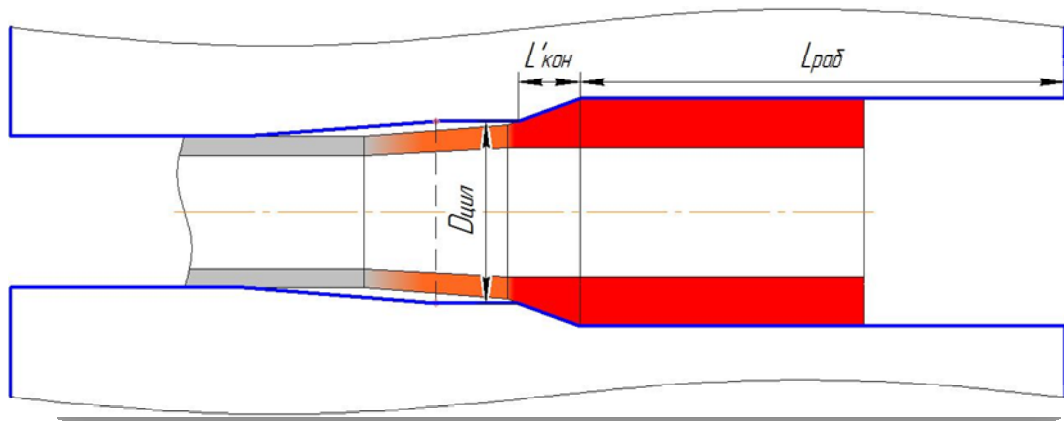


Рис. 3. Положение трубы относительно матриц
Длину рабочего участка матриц определяется разностью длины нагрева и длины конической части, с учетом погрешности 10 мм

Длины конического участка матриц должна быть уменьшена до диаметра, равного произведению максимального диаметра на коэффициент термического расширения трубы в холодном состоянии.

Калибровка пуансона определяется в соответствии с величиной диаметров пуансона в различных его частях (рис. 4).

Диаметр поршневой части пуансона считается как разность внутреннего диаметра высаженной части трубы и погрешности 0,2 мм.

Диаметры остальных участков пуансона вычисляются по следующим формулам:

$$d_3 = d_0^{min} \cdot K_{t2} - 0,4;$$

$$d_4 = d_3 - 1,5.$$

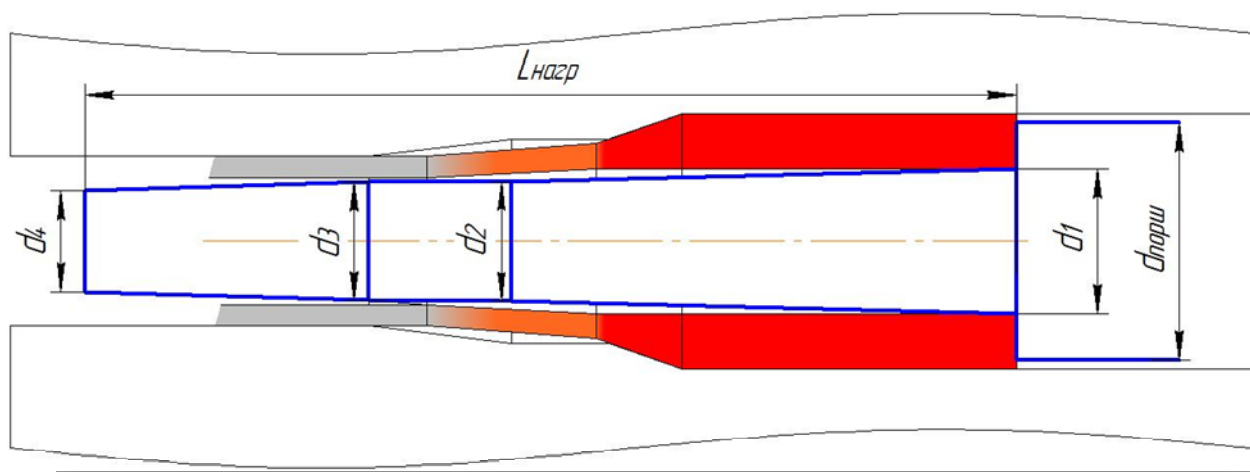


Рис. 4. Положение высаживаемой трубы относительно пуансона

3. Исследование температуры трубы при высадке

При высадке насосо-компрессорных труб в настоящее время возникают проблемы с несоответствием размеров и качества поверхности высаженного конца трубы стандартным требованиям. Основной причиной образования дефектов является отсутствие нагрева трубы и инструментов заданной температуры. Поэтому в процессе деформации для проведения более эффективного процесса высадки является оптимизация режимов нагрева конца трубы.

Выбор неправильных режимов нагрева приводит к:

- образованию незаполнений и раковин на внутренней или наружной поверхности;
- образованию торцевого облоя;
- неплавный переход к внутреннему диаметру исходной трубы;
- несоблюдению требований к внутреннему диаметру трубы;
- ухудшение структуры металла.

Температура нагрева зависит от марки стали и определяет сопротивление деформации материала.

Целью проведения эксперимента было определение температурных полей в металле при высадке концов труб. В ходе эксперимента была измерена степень черноты, проведен анализ термограмм и построен график точного распределения температур по длине нагрева до и после деформации. Использовались стационарные пирометры, тепловизор и хромель-алюминиевая термопара.

Была определена следующая зависимость степени черноты от температуры (рис. 5):

$$\varepsilon = \begin{cases} 1,00145 - 0,000057971 \cdot T, \text{ при } T \leq 657,2 \text{ }^{\circ}\text{C}; \\ 1,28892 - 0,000495395 \cdot T, \text{ при } T \geq 657,2 \end{cases}$$

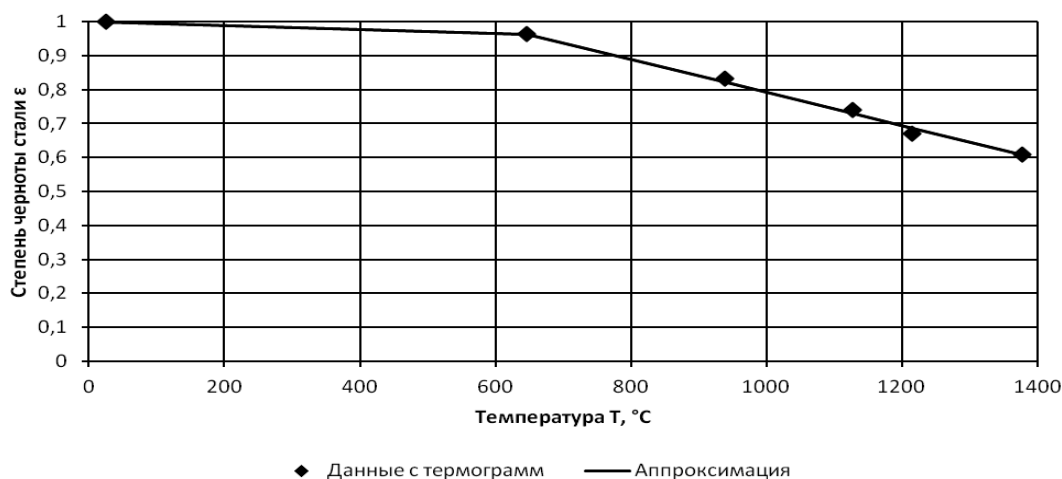


Рис. 5. Зависимость степени черноты от температуры

Для проведения эксперимента и для построения зависимости температуры от длины нагрева были приняты за стандарт следующие режимы нагрева:

- длина нагрева 310 мм;
- температура нагрева 1290 °C;
- расстояние до КЗК 70 мм;
- время цикла нагрева 25 с.

На графике распределения температуры по длине нагрева до деформации (рис. 6) можно заметить, что температура уменьшается равномерно от торца трубы до канонической части. Максимальная температуры на этом участке достигает 1250–1280 °C.

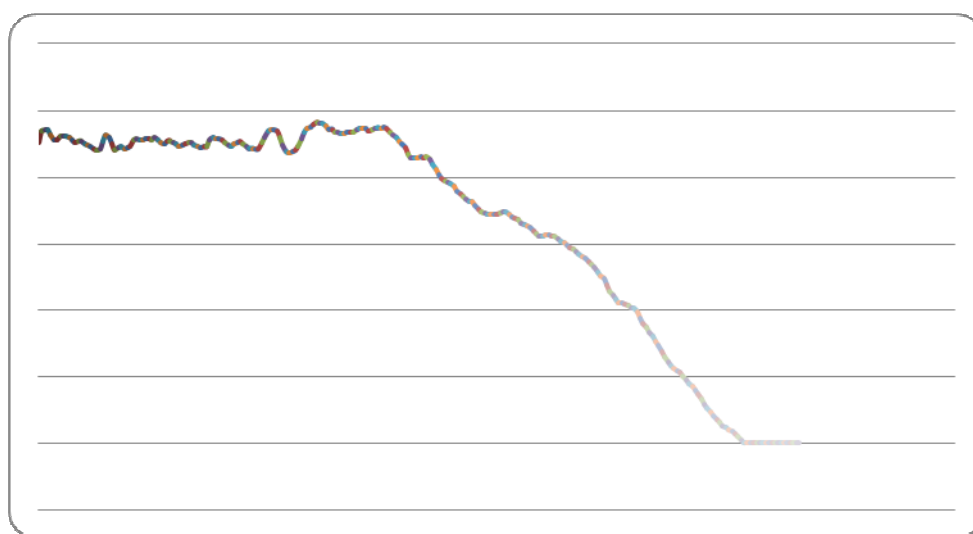


Рис. 6. Распределение температуры по длине нагрева до высадки

После высадки (рис. 7) температура значительно уменьшилась примерно в два раза и ее распределение по длине нагрева равномерное становится только ближе к канонической части трубы

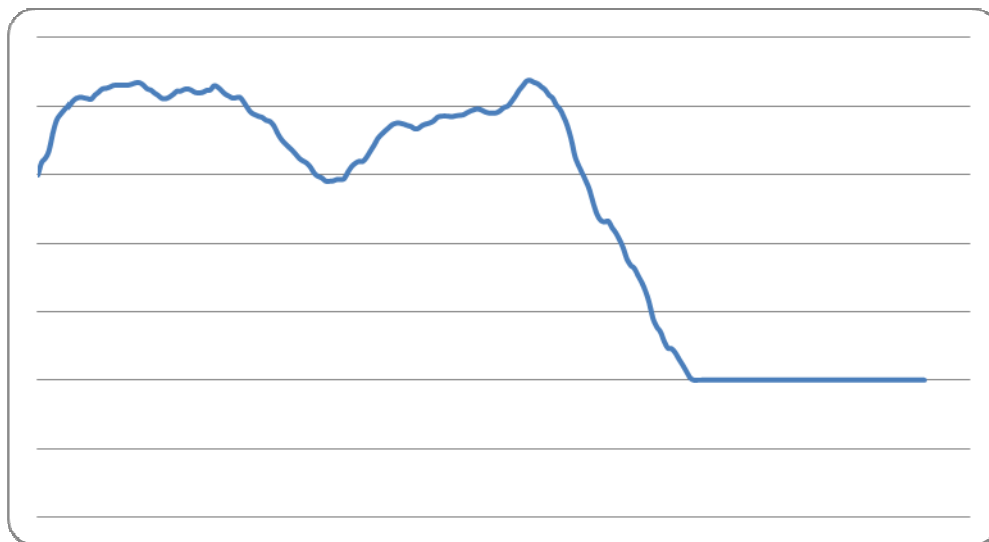


Рис. 7. Распределение температуры подлине высадки после высадки

Длина нагрева определяется положением трубы относительно матриц и оптимальная формула для расчета имеет следующий вид:

$$l_{\text{нагр.}} = l_{\text{раб.матр.}} - l_{\text{тор.матр.}} + 60 \div 80$$

Заключение

В работе произведено исследование и совершенствование технологии производства насосно-компрессорных труб. Показано, что температура трубы до высадки выше, чем после высадки. Также в ходе эксперимента было замечено, что показания пирометров отличаются от показаний термомпары примерно на 100 °С. Поэтому рекомендуется использовать единую степень черноты 89 %.

Список источников

1. Петров А.Н., Петров П.А., Петров М.А. Комплексное исследование коллоидно-графитовых смазочных материалов на водной основе : сб. трудов конф. 145-летие МГТУ «МАМИ». 2010. С. 98–106.